

See discussions, stats, and author profiles for this publication at:  
<https://www.researchgate.net/publication/287490002>

# Osmosis Balik

Book · October 2014

CITATIONS

0

READS

1,238

3 authors:



**I Gede Wenten**

Bandung Institute of Technology

**413** PUBLICATIONS **1,250** CITATIONS

SEE PROFILE



**Khoiruddin Khoiruddin**

Bandung Institute of Technology

**50** PUBLICATIONS **248** CITATIONS

SEE PROFILE



**A.N. Hakim**

Bandung Institute of Technology

**23** PUBLICATIONS **160** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



[INDUSTRIAL PROJECT] Study and Feasibility Analysis of Innovative Membrane Contactor Technology for Sweetening Gas from Natural Gas With High CO<sub>2</sub> Natural Content, [View project](#)



[RESEARCH PROJECT] Ozonated Olive Oil by Membrane Technology [View project](#)

All content following this page was uploaded by **I Gede Wenten** on 18 January 2016.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

# OSMOSIS BALIK

***I G. Wenten, Khoiruddin, A. N. Hakim***



# DAFTAR ISI

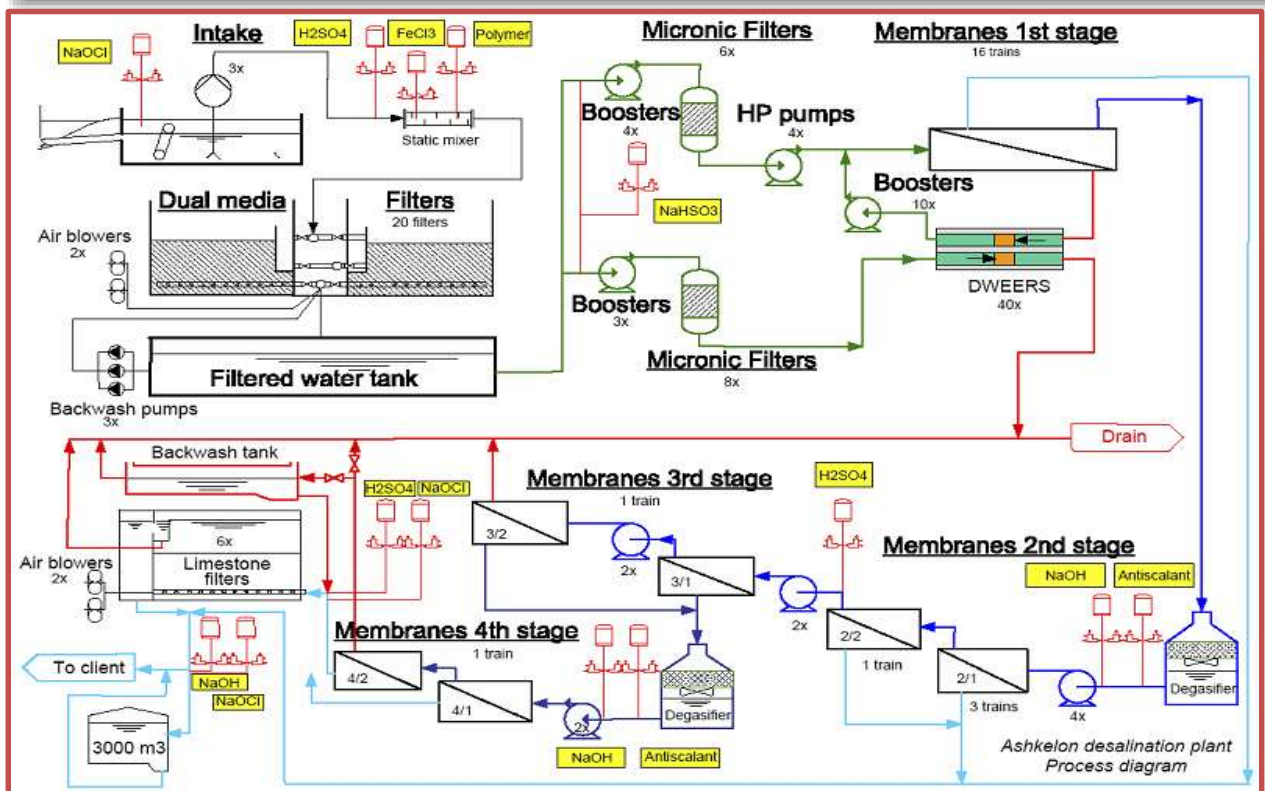
Perkembangan Teknologi RO

Prinsip dasar RO

Tinjauan Aspek Teknis

Aplikasi

## Ashkelon Desalination Plant, Israel



Skema proses SWRO di plant desalinasi Ashkelon [Sauvet-Goichon , 2007]



## Sorek Desalination Plant, Israel



**Capacity:** 624,000 m<sup>3</sup>/day (26,000 m<sup>3</sup>/hour)  
**Technology:** Reverse Osmosis (RO)  
**Project Type:** Build-Operate-Transfer (BOT)  
**Location:** Sorek, Israel  
**Footprint:** 100,000 m<sup>2</sup> (10 ha)  
**Commission Date:** 2013



Modul RO 16 inch yang disusun secara vertikal

<http://www.ide-tech.com/blog/case-study/sorek-israel-project/>

## Material membran

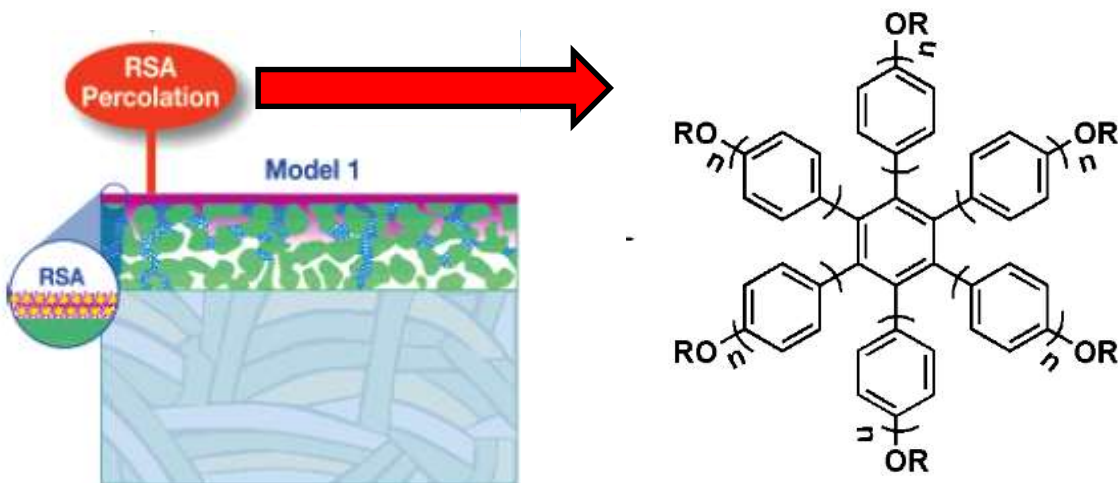
**Membran RO konvensional – membran polimerik**

- Membran asimetrik
- Membran komposit (thin film composite, TFC)
- Membrane hasil modifikasi dan pengendalian reaksi polikondensasi antar muka

**Membran-membran RO terbaru**

- Membran polimer berbasis *rigid star amphiphiles*
- Membran keramik/inorganic
- Membran matriks campuran
- Membran RO biomimetik

[Lee dkk, 2011]

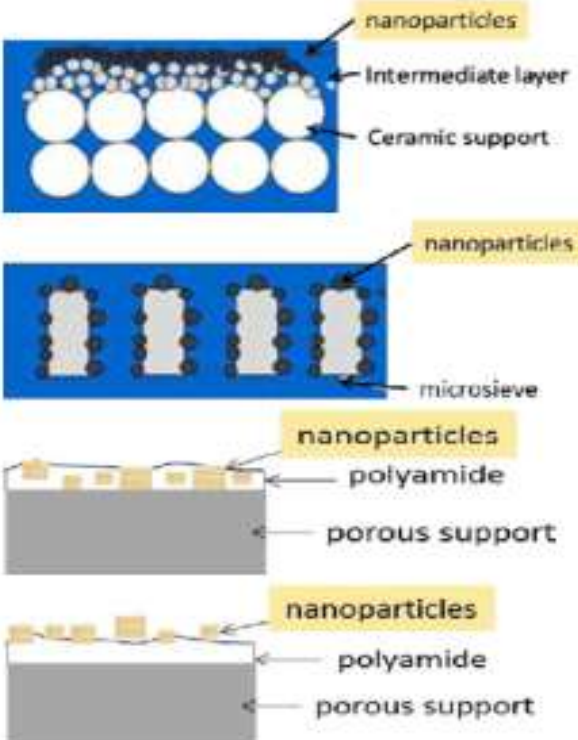
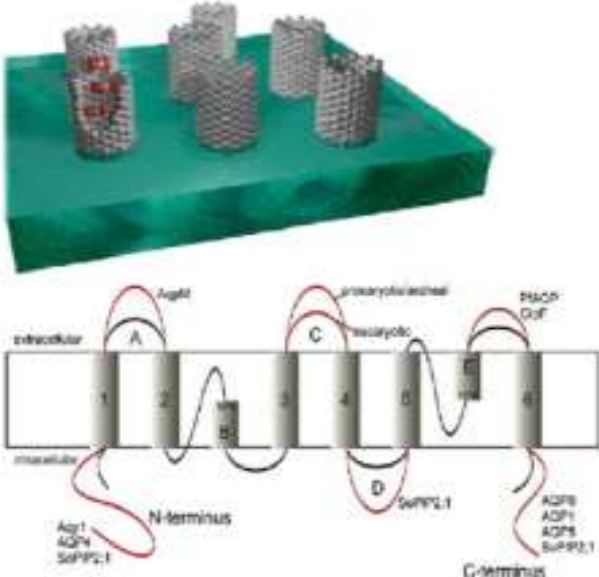


Membran polimer dari senyawa rigid star amphiphiles (RSA) [Lu dkk, 2007]

## Membran RO

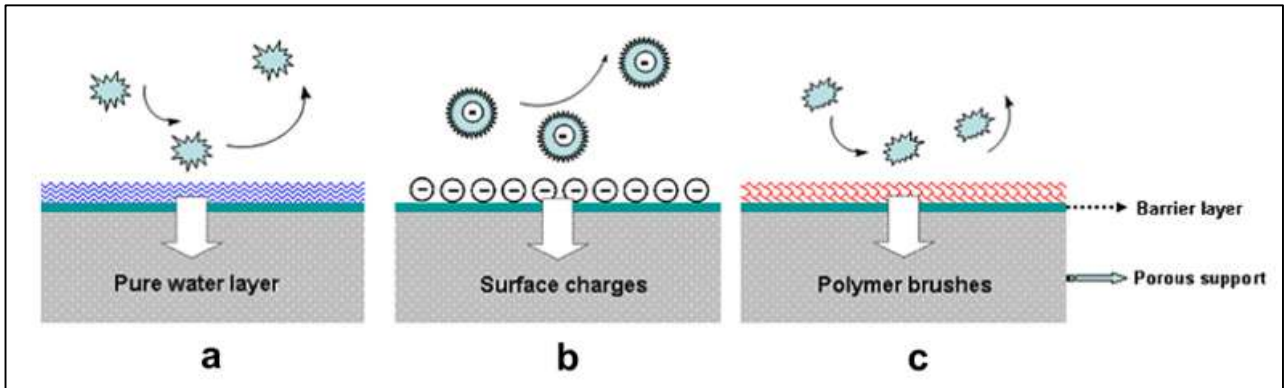
## Material membran

Klasifikasi membran terbaru untuk proses desalinasi (Buonomenna, 2013)

| Tipe <i>Nano-enhanced membrane</i>  | Skema  |
|---|--|
| <p>Anorganik</p> <p>Keramik</p> <p>Metalik</p> <p><i>Thin film nanocomposite (TFN)</i></p>            |  <p>nanoparticles</p> <p>Intermediate layer</p> <p>Ceramic support</p> <p>nanoparticles</p> <p>microsieve</p> <p>nanoparticles</p> <p>polyamide</p> <p>porous support</p> <p>nanoparticles</p> <p>polyamide</p> <p>porous support</p>   |
| <p><i>Bio-inspired membrane</i></p> <p>Aligned carbon nanotubes</p> <p>Membran berbasis aquaporin</p> |  <p>Aligned carbon nanotubes</p> <p>intracellular</p> <p>extracellular</p> <p>N-terminus</p> <p>C-terminus</p> <p>A</p> <p>B</p> <p>C</p> <p>D</p> <p>Agg1</p> <p>Agg2</p> <p>Agg3</p> <p>Agg4</p> <p>Agg5</p> <p>Agg6</p> <p>Agg7</p> <p>Agg8</p> <p>Agg9</p> <p>Agg10</p> <p>Agg11</p> <p>Agg12</p> <p>Agg13</p> <p>Agg14</p> <p>Agg15</p> <p>Agg16</p> <p>Agg17</p> <p>Agg18</p> <p>Agg19</p> <p>Agg20</p> <p>Agg21</p> <p>Agg22</p> <p>Agg23</p> <p>Agg24</p> <p>Agg25</p> <p>Agg26</p> <p>Agg27</p> <p>Agg28</p> <p>Agg29</p> <p>Agg30</p> <p>Agg31</p> <p>Agg32</p> <p>Agg33</p> <p>Agg34</p> <p>Agg35</p> <p>Agg36</p> <p>Agg37</p> <p>Agg38</p> <p>Agg39</p> <p>Agg40</p> <p>Agg41</p> <p>Agg42</p> <p>Agg43</p> <p>Agg44</p> <p>Agg45</p> <p>Agg46</p> <p>Agg47</p> <p>Agg48</p> <p>Agg49</p> <p>Agg50</p> <p>Agg51</p> <p>Agg52</p> <p>Agg53</p> <p>Agg54</p> <p>Agg55</p> <p>Agg56</p> <p>Agg57</p> <p>Agg58</p> <p>Agg59</p> <p>Agg60</p> <p>Agg61</p> <p>Agg62</p> <p>Agg63</p> <p>Agg64</p> <p>Agg65</p> <p>Agg66</p> <p>Agg67</p> <p>Agg68</p> <p>Agg69</p> <p>Agg70</p> <p>Agg71</p> <p>Agg72</p> <p>Agg73</p> <p>Agg74</p> <p>Agg75</p> <p>Agg76</p> <p>Agg77</p> <p>Agg78</p> <p>Agg79</p> <p>Agg80</p> <p>Agg81</p> <p>Agg82</p> <p>Agg83</p> <p>Agg84</p> <p>Agg85</p> <p>Agg86</p> <p>Agg87</p> <p>Agg88</p> <p>Agg89</p> <p>Agg90</p> <p>Agg91</p> <p>Agg92</p> <p>Agg93</p> <p>Agg94</p> <p>Agg95</p> <p>Agg96</p> <p>Agg97</p> <p>Agg98</p> <p>Agg99</p> <p>Agg100</p> |

### Pengembangan membran anti-fouling

Fouling merupakan salah satu tantangan terbesar dalam operasi membran. Saat ini telah banyak dikembangkan membran untuk memperoleh karakteristik antifouling. Mekanisme antifouling pada membran dapat dilihat pada gambar berikut.



Mekanisme antifouling (a) lapisan air murni, (b) gaya tolak elektrostatis, dan (c) *stearic repulsion* (Kang dan Cao, 2012)

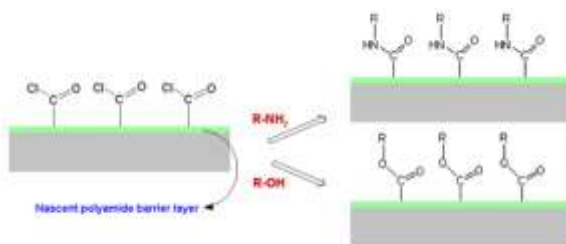
Metode preparasi membran RO dengan karakteristik anti-fouling (Kang dan Cao, 2012):

#### 1. Modifikasi permukaan

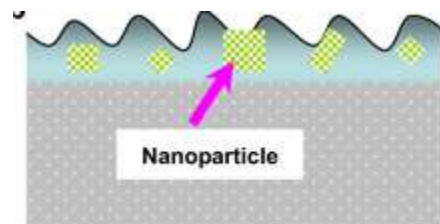
- Metode fisik: adsorpsi permukaan, pelapisan (coating) permukaan
- Metode kimiawi: hidrofisisasi, grafting, chemical coupling, polimerisasi plasma, Initiated chemical vapor deposition

#### 2. Hibrid membran

- Penambahan partikel anorganik secara langsung di permukaan membran
- Penambahan partikel anorganik dalam reaksi interfacial polymerization



Contoh modifikasi permukaan



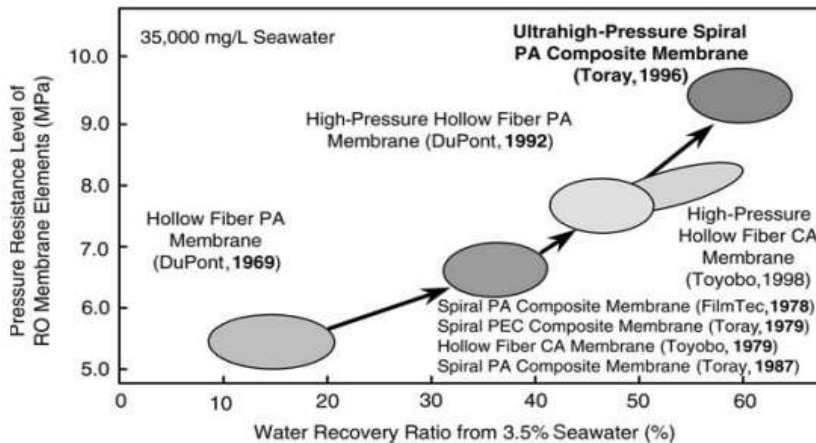
Contoh membran hibrid

(Kang dan Cao, 2012)

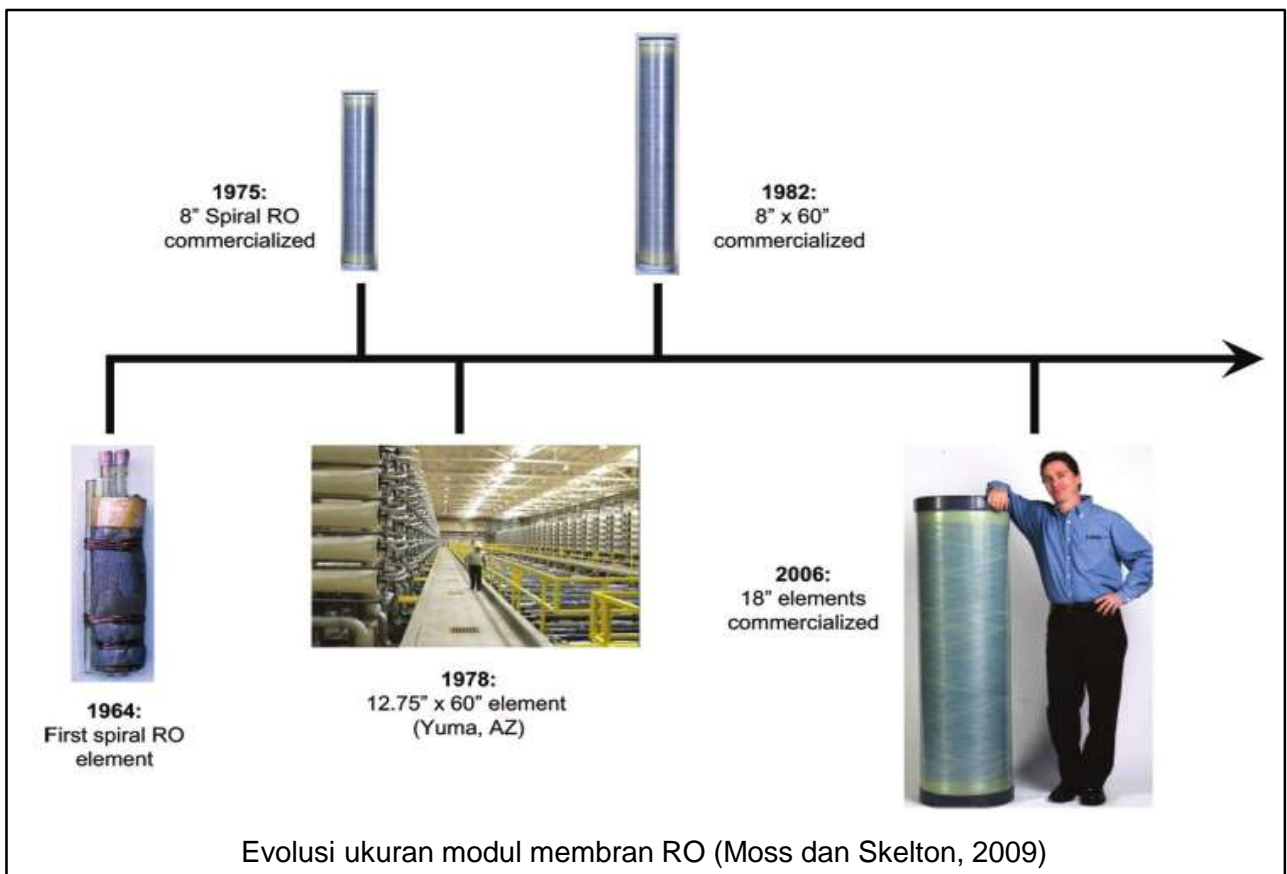


## Membran RO

Teknik Membran digunakan dalam berbagai cara untuk meningkatkan kualitas air. Reverse osmosis (RO) adalah teknik desalinasi dengan pertumbuhan tercepat di industri. Trend performa membran RO untuk desalinasi air laut juga semakin meningkat. Ukuran modul membran RO juga mengalami evolusi untuk memenuhi kebutuhan kapasitas pengolahan air yang semakin besar.



Trend performa membran RO untuk desalinasi air laut (Uemura & Henmi, 2008)



Evolusi ukuran modul membran RO (Moss dan Skelton, 2009)

## Membran RO

## Sistem Mega Magnum



[http://csmres.co.uk/cs.public.upd/article-images/KMS\\_Image1.jpg](http://csmres.co.uk/cs.public.upd/article-images/KMS_Image1.jpg)



Pemasalahan teknis yang dijumpai dalam penggunaan modul ukuran besar adalah masalah teknis *loading* membran ke dalam *pressure vessel* karena ukurannya yang besar. Permasalahan tersebut telah ditangani menggunakan alat loading sederhana.



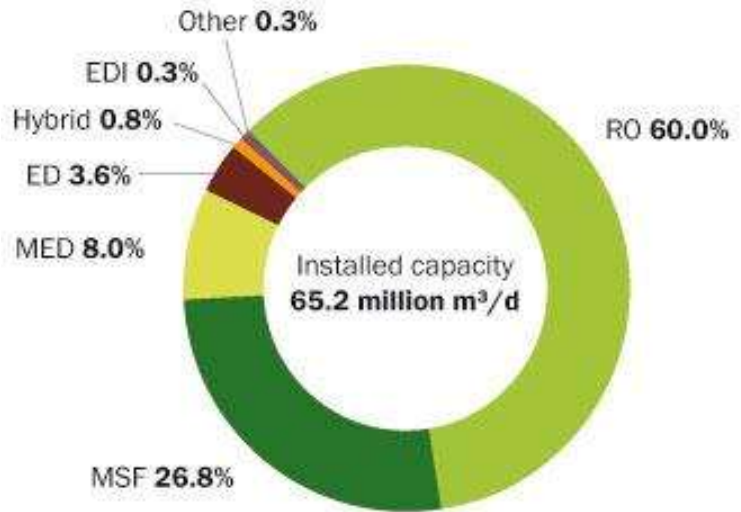
Loading Element Megamagnum

<http://www.kochind.com/files/KochMembraneHomePage.jpg>

## Pasar Teknologi RO

## Desalinasi air laut

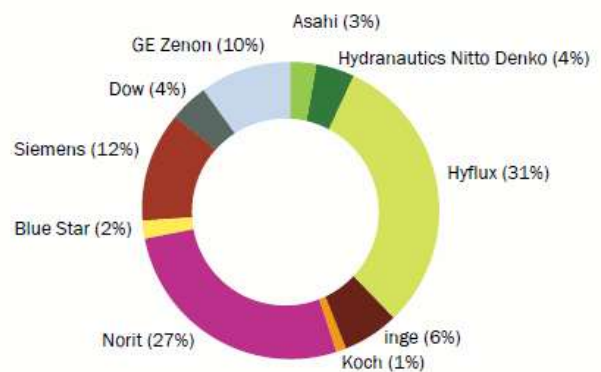
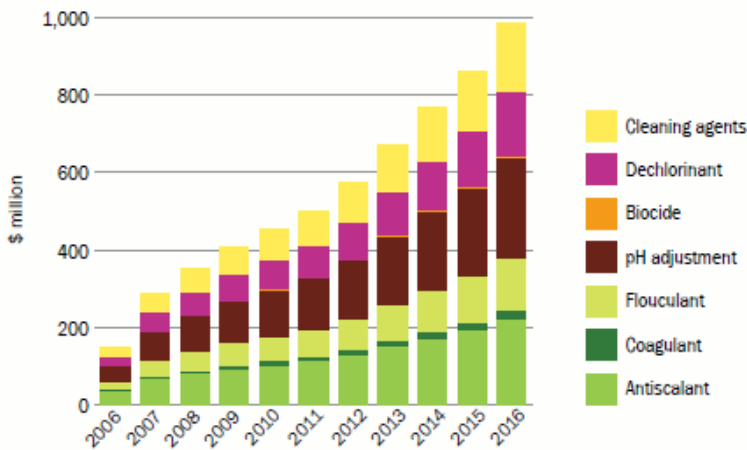
Teknologi berbasis membran kini merupakan teknologi yang paling diminati untuk desalinasi air laut dibandingkan teknologi sebelumnya yaitu evaporasi karena penggunaan energi yang relatif lebih rendah. Teknologi membran yang paling banyak digunakan untuk desalinasi air laut adalah reverse osmosis yang menjadi 60% kapasitas desalinasi dunia disusul teknologi sebelumnya yaitu multi stage flash kemudian elektrodialisis dan elektrodeionisasi.



<http://www.climatechwiki.org/content/desalination>

## Pasar pendukung SWRO

SWRO chemicals market 2006-2016 (\$ millions)



Pasar *chemical* untuk plant SRO  
[\[http://kremesti.com/water/articles/SWRO\\_biofouling/profile\\_7.gif\]](http://kremesti.com/water/articles/SWRO_biofouling/profile_7.gif)

MF/UF supplier untuk pretreatment SWRO  
[\[http://kremesti.com/water/articles/SWRO\\_biofouling/profile2\\_3.gif\]](http://kremesti.com/water/articles/SWRO_biofouling/profile2_3.gif)

## Overview

Reverse osmosis (RO) adalah sebuah metode filtrasi yang mampu menyisihkan banyak jenis molekul dan ion besar dari larutan dengan memberikan tekanan pada larutan yang berada pada salah satu sisi membran selektif (Mulder, 1996).

Tekanan eksternal diaplikasikan pada larutan untuk melawan tekanan osmotiknya. Sehingga hasilnya adalah perpindahan air dari larutan hipertonik ke larutan hipotonik.

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Membran</b>           | Asimetris atau komposit  |
| <b>Ketebalan</b>         | Sublayer $\approx 150 \mu\text{m}$ ; toplayer $\approx 1 \mu\text{m}$                    |
| <b>Ukuran pori</b>       | $<2 \text{ nm}$  |
| <b>Driving force</b>     | Tekanan: air payau (15 – 25 bar)<br>air laut (40 – 80 bar)                               |
| <b>Prinsip pemisahan</b> | Solution diffusion   |
| <b>Material membran</b>  | Selulos triasetat, poliamida aromatik, Poliamida & polieterurea (polimerisasi interfasa) |

| <b>Tipe Pemisahan</b>                  | <b>Contoh</b>  |
|--|--|
| <b>Pengolahan air</b>                  | Desalinasi air laut<br>Pre – treatment dari boiler water, Water softening dan daur ulang air proses                |
| <b>Pemekatan</b>                       | Pemekatan jus buah, air dari pemrosesan ikan, Recovery susu dan pemekatan sirup Maple                              |
| <b>Fraksionasi</b>                     | Klarifikasi jus buah, recovery rasa, bau, dsb. Penghilangan alkohol dari wine                                      |
| <b>Recovery produk dan bahan kimia</b> | Recovery gula dan asam dari air bilasan dari fruit cocktail dicer. Regenerasi dari larutan pembersih dan sanitizer |

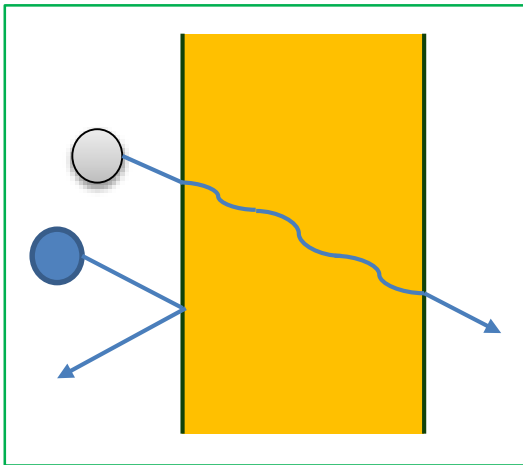


Mulder, 1996



## Proses osmosis

## Perpindahan melalui membran tak berpori



Skema flow aliran melalui membran dense (Baker, 2004)

Ketika ukuran molekul berada di urutan yang sama besarnya, seperti oksigen dan nitrogen atau heksana dan heptana, membran berpori tidak dapat memberikan efek yang signifikan pada pemisahan. Dalam hal ini membran non-pori harus digunakan (Mulder, 1996)

Elemen volume kosong (pori-pori) dalam membran adalah ruang kecil antara rantai polimer yang disebabkan oleh gerak termal molekul polimer. Volume kosong tersebut muncul dan menghilang pada sekitar skala waktu yang sama seperti gerakan permeasi melalui membran.

Pada dasarnya, transport gas, uap atau cairan melalui membran dense, non-pori dapat digambarkan melalui mekanisme difusi solusi, yaitu

$$\text{Permeabilitas (P)} = \text{Solubilitas (S)} \times \text{diffusivitas (D)}$$

Jumlah dari penetrasi terserap dalam membran yang sangat tergantung pada sifat kimia dari membran dan penetrasi

Parameter kinetik yang menunjukkan seberapa cepat suatu penetrasi dipindahkan, yang sangat tergantung pada kondisi operasi dan ukuran molekul

Koefisien solubilitas dari berbagai jenis gas di dalam karet alami (Mulder, 1996)

| Spesi           | Berat molekul | S (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> cmHg <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|---------------|--|
| H <sub>2</sub>  | 2             | 0.0005   |
| N <sub>2</sub>  | 28            | 0.0010   |
| O <sub>2</sub>  | 32            | 0.0015   |
| CH <sub>4</sub> | 16            | 0.0035   |
| CO <sub>2</sub> | 44            | 0.0120   |

Pengaruh ukuran penetrasi terhadap nilai D<sub>0</sub> pada poly(vinil asetat) (Mulder, 1996)

| Spesi    | V <sub>m</sub> (cm <sup>3</sup> /mole) | D <sub>0</sub> (cm <sup>2</sup> /s) |
|----------|--|-------------------------------------|
| Air      | 18                                     | 1.2 10 <sup>-7</sup>                |
| Etanol   | 41                                     | 1.5 10 <sup>-9</sup>                |
| Propanol | 76                                     | 2.1 10 <sup>-12</sup>               |
| Benzena  | 91                                     | 4.8 10 <sup>-13</sup>               |

Mulder, 1996

Perpindahan melalui membran tak berpori

| Umpan<br>Fasa 1 | Membran                                     |   | Permeat<br>Fasa 2                        |
|-----------------|---|---|--|
| P1              | $\mu_{i,1}^s$<br>$C_{i,1}^s$<br>$a_{i,1}^s$ | $\mu_{i,1}^m$ $\mu_{i,2}^m$<br>$C_{i,1}^m$ $C_{i,2}^m$<br>$a_{i,1}^m$ $a_{i,2}^m$ | $\mu_{i,2}^s$ $C_{i,2}^s$<br>$a_{i,2}^s$ |
|                 |   |   | P2                                       |

Pada antarmuka umpan (fasa 1/membran) :

$$\mu_{i,1}^m = \mu_{i,1}^s \Rightarrow a_{i,1}^m = a_{i,1}^s$$

Pada antarmuka membran (fasa 2/membran):

$$\mu_{i,2}^m = \mu_{i,2}^s \Rightarrow a_{i,2}^m = a_{i,2}^s \exp \left[ \frac{-V_i(P_1 - P_2)}{RT} \right]$$

Koefisien aktivitas pada antarfasa umpan:

$$c_{i,1}^m = Y_{i,1}^m \Rightarrow c_{i,1}^s = Y_{i,1}^s$$

Aktivitas pada antarmuka permeat:

$$c_{i,2}^m Y_{i,2}^m \Rightarrow c_{i,2}^s Y_{i,2}^s \exp \left[ \frac{-V_i(P_1 - P_2)}{RT} \right]$$

Konstan solubilitas

$$K_{i,1} = \frac{Y_{i,1}^s}{Y_{i,1}^m} \quad \text{and} \quad K_{i,2} = \frac{Y_{i,2}^s}{Y_{i,2}^m}$$

$$J_i = \frac{D_i}{\ell} \left( K_{i,1} c_{i,1}^s - K_{i,2} c_{i,2}^s \exp \left[ \frac{-V_i(P_1 - P_2)}{RT} \right] \right)$$

$$J_i = \frac{P_i}{\ell} \left( c_{i,1}^s - \alpha_i c_{i,2}^s \exp \left[ \frac{-V_i(P_1 - P_2)}{RT} \right] \right)$$

Reverse osmosis

- Solut dengan berat molekul rendah
- Larutan organik
- Tekanan sebagai gaya dorong

Fluks total

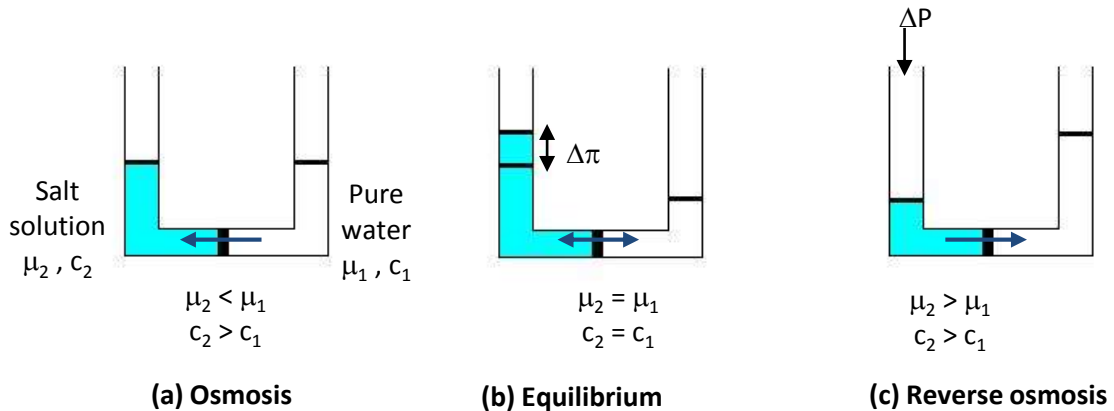
$$J_{\text{total}} = J_w + J_s \quad J_w = A_w (\Delta P - \Delta \pi)$$

$$A_w = \frac{D_w \cdot c_{w,\tau}^m V_w}{RT \cdot \ell}$$

$$B = \frac{D_s \cdot K_s}{\ell}$$

Proses osmosis

Perpindahan melalui membran RO dapat dijelaskan menggunakan model *solution-diffusion* sebagai berikut

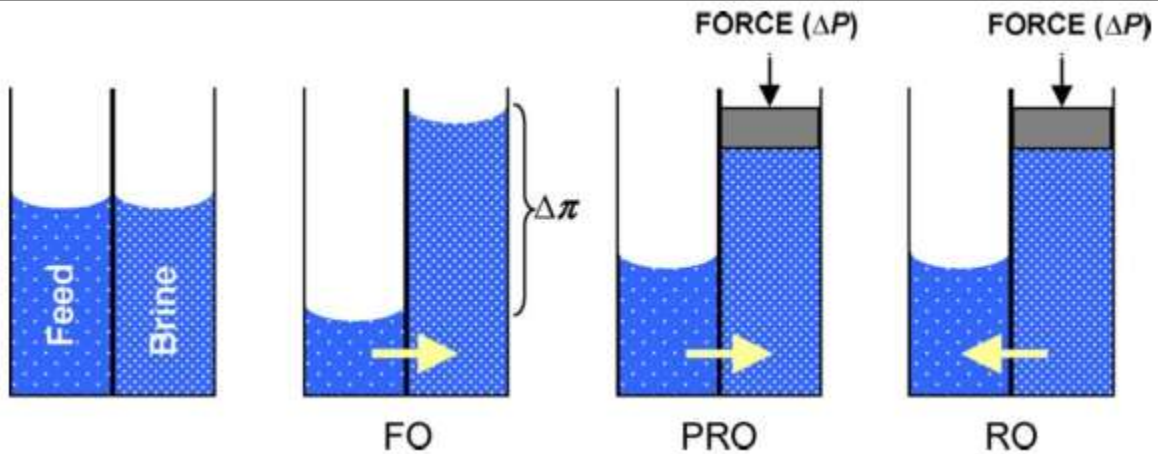


Reverse osmosis menggunakan tekanan tinggi untuk mendorong aliran molekul air melewati membran *dense*.

|   |   |   |
|---|---|---|
| Fluks air ideal melewati membran                            | $J_w = A(\Delta P - \Delta \pi)$                  |   |
| Fluks air aktual  | $J_w = A(\Delta P - \sigma \cdot \Delta \pi)$     |   |
| Permeabilitas air/<br>Koefisien permeabilitas hidrodinamika | $A = \frac{D_w c_w V_w}{RT \cdot \Delta x}$       | Setinggi mungkin  |
| Fluks solut   | $J_s = B \cdot \Delta c_s$                        |   |
| Koefisien permeabilitas solut                               | $B = \frac{D_s \cdot K_s}{\Delta x}$              | Serendah mungkin  |
| Koefisien rejeksi   | $R = \frac{c_f - c_p}{c_f} = 1 - \frac{c_p}{c_f}$ | $R = \frac{A(\Delta P - \Delta \pi)}{A(\Delta P - \Delta \pi) + B}$ |

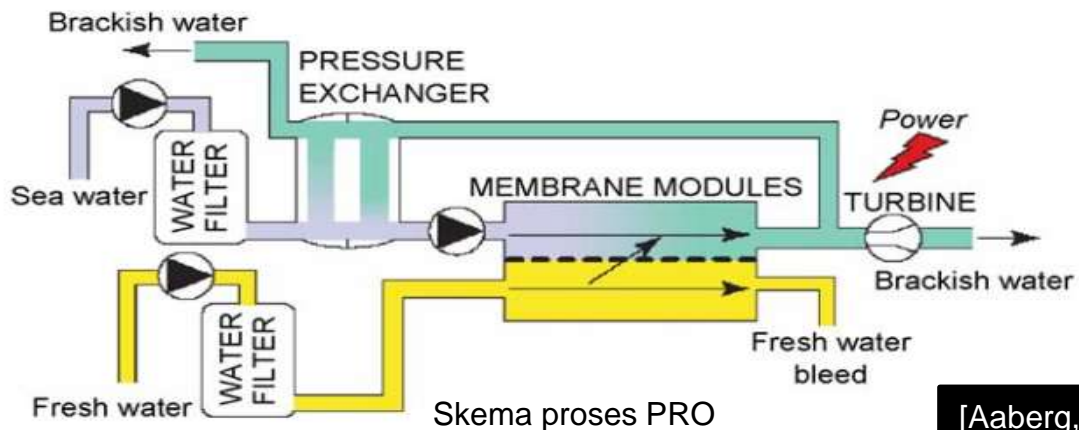
Baker, 2004

## Proses osmosis

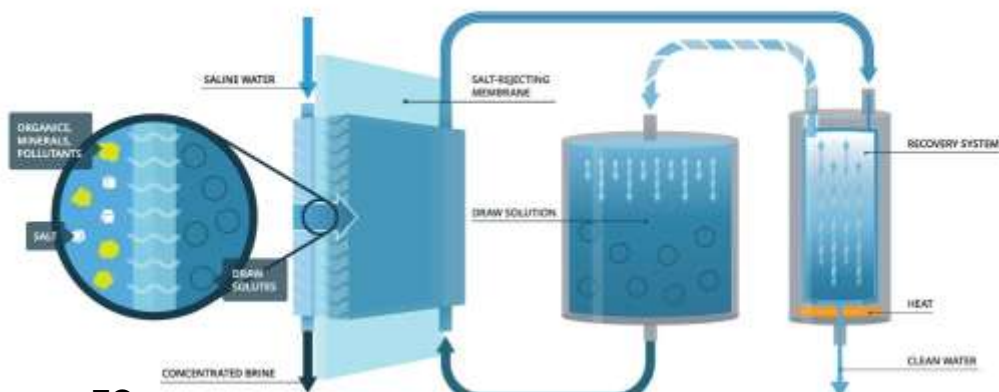


Forward osmosis (FO), Pressure-retarded osmosis (PRO), dan Reverse Osmosis (RO)

[Cath dkk, 2006]



[Aaberg, 2003]

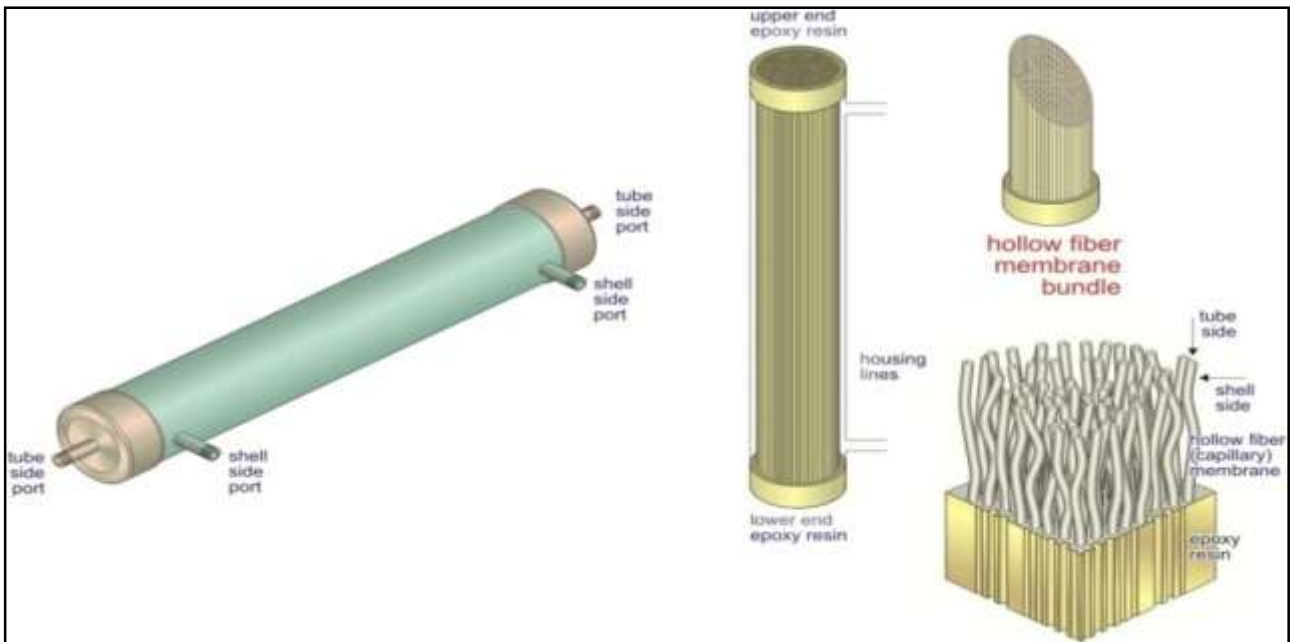


Skema proses FO

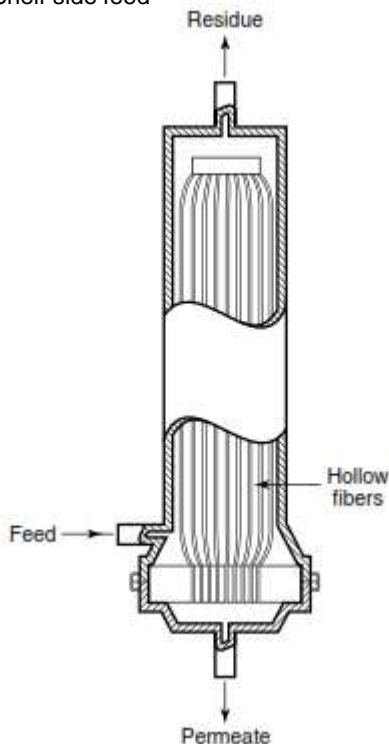
[http://www.nanalyze.com/wp-content/uploads/2014/11/Oasis\\_Technology\\_Diagram.jpg](http://www.nanalyze.com/wp-content/uploads/2014/11/Oasis_Technology_Diagram.jpg)



## Modul hollow fiber

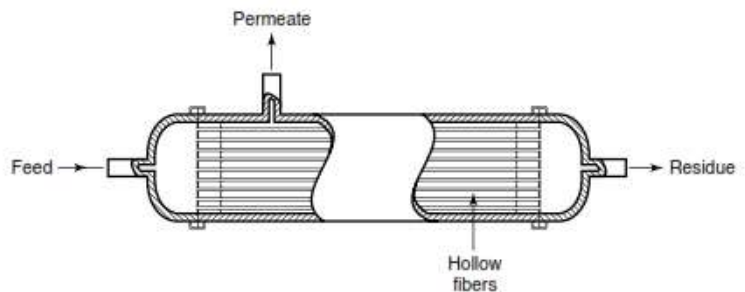


## A. Shell-side feed



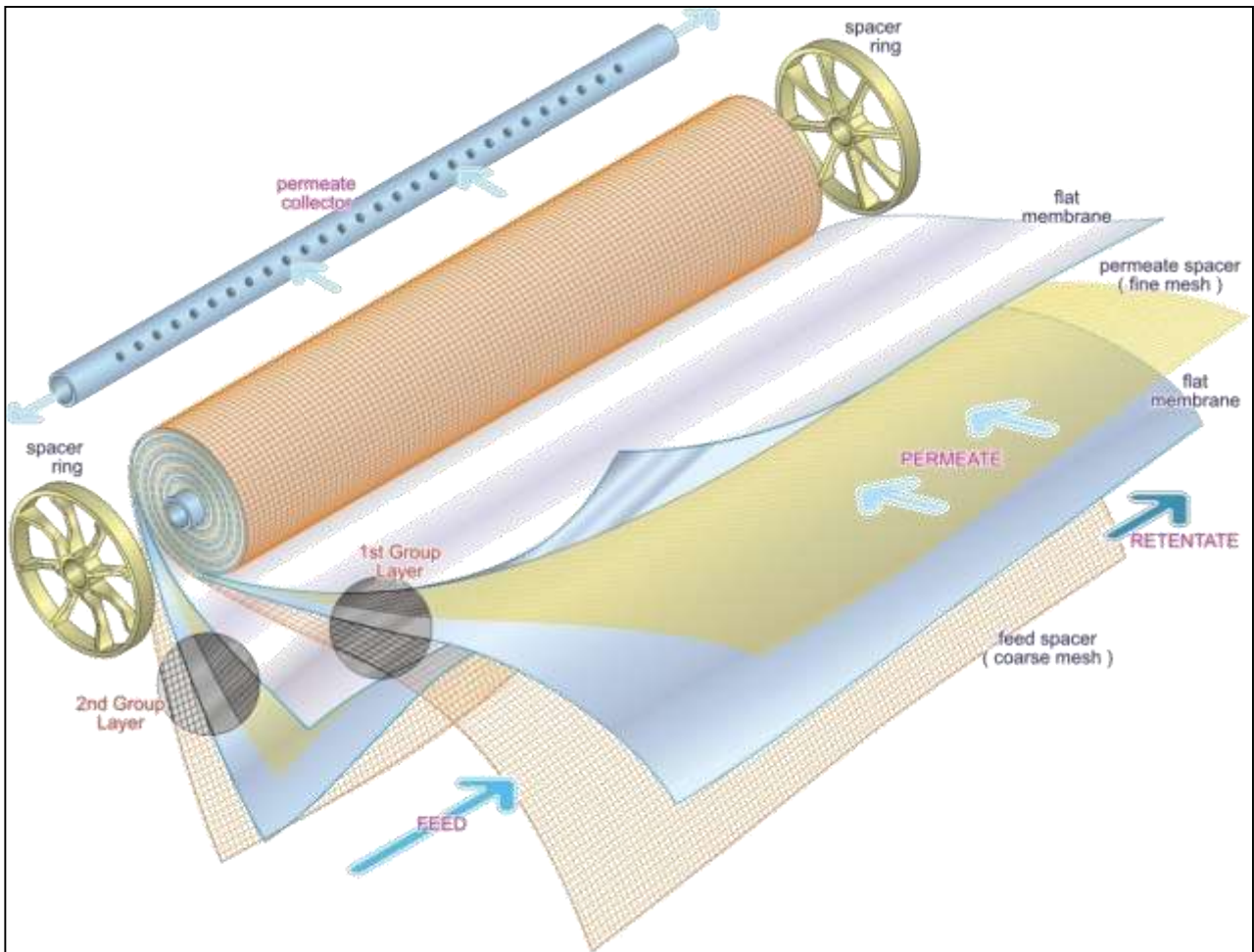
Modul tipe shell-side feed umumnya digunakan untuk tekanan operasi yang tinggi, hingga 1000 psig. Permasalahan yang dijumpai pada tipe modul ini adalah adanya *fouling* pada sisi umpan membran, sehingga perlu adanya pre-treatment aliran umpan untuk menghilangkan partikulat besar atau organik. Sementara itu tipe bore-side feed umumnya digunakan untuk aliran umpan bertekanan medium hingga 150 psig, yang memiliki pengontrolan kecepatan alir yang baik dan dapat meminimalisasi adanya *fouling* atau konsentrasi polarisasi pada sisi umpan membran.

## B. Bore-side feed



Desain geometris modul hollow fiber (Baker, 2004)

## Modul spiral wound



Saat ini, hampir sebagian besar modul membran RO yang terpasang dalam plant desalinasi adalah *spiral wound*, karena luas permukaan yang besar dengan *packing density* hingga 1000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Selain itu, modul spiral wound memiliki permeabilitas yang besar, pengontrolan *fouling* yang baik dan mudah dioperasikan.

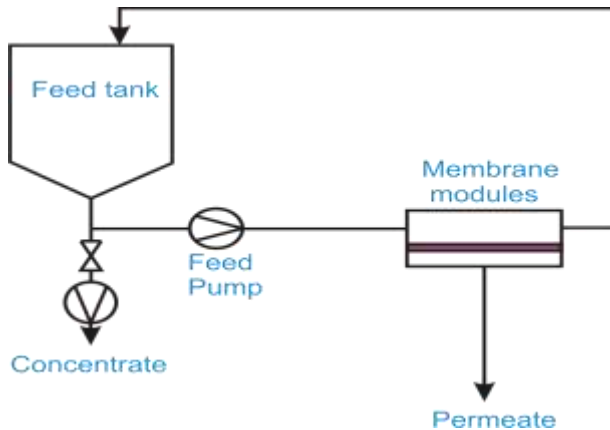


Beberapa modul RO dapat disusun ke dalam satu pressure vessel

<http://codeline.pentair.com/~media/websites/codeline/homepage/header%20codeline%20product%20finder.jpg>

## Sistem Operasi : Partaian dan Kontinyu

## Batch (Partaian)



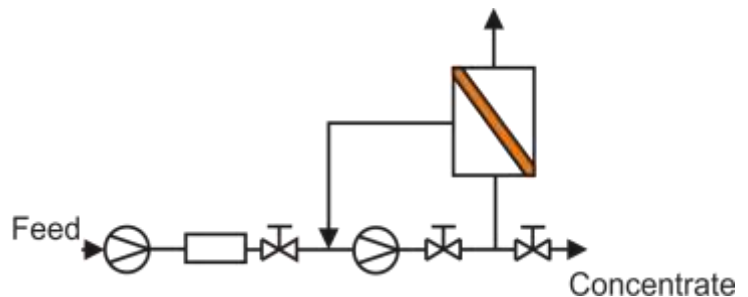
Sistem operasi yang paling sederhana adalah proses partaian (batch). Dalam unit ini, sejumlah volume larutan umpan disirkulasi melalui modul dengan laju alir yang tinggi.

Proses berlanjut hingga pemisahan yang dikehendaki tercapai, selanjutnya larutan konsentrat dikuras dari tangki umpan, dan unit siap untuk mengolah batch kedua larutan. Proses batch cocok untuk operasi skala kecil yang banyak pada industri bioteknologi dan farmasi [Mulder, 1996]

Pada proses mikrofiltrasi, untuk mengurangi konsumsi energi dari proses mikrofiltrasi dapat digunakan daripada konfigurasi batch standar yang lebih mudah dan murah. Hal ini dapat mengurangi kebutuhan energi hingga 30-50% dengan rata-rata fluks yang lebih rendah [www.rsc.org].

Laju alir kontinyu dari umpan digunakan pada proses kontinyu. Proses ultrafiltrasi kontinyu, dimana mmodul disusun secara seri untuk mendapatkan pemisahan yang diinginkan dalam single pass cukup umum. Dalam sistem ini sejumlah besar volume larutan disirkulasi melalui sejumlah modul membran [Mulder, 1996].

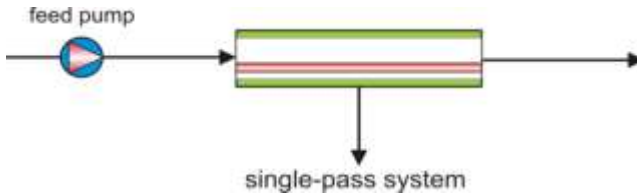
## Kontinyu



Untuk ultrafiltrasi menggunakan sistem *feed dan bleed*, keuntungannya adalah kecepatan larutan umpan yang tinggi melalui modul dengan mudah dijaga tidak bergantung pada volume larutan yang diolah. Pada banyak pabrik, laju alir larutan dalam sirkulasi sejumlah 5-10 kali laju alir larutan umpan. Laju sirkulasi yang tinggi berarti konsentrasi material yang tertahan dekat dengan larutan bleed dan tinggi secara signifikan dengan konsentrasi larutan umpan [Mulder, 1996].

## Sistem Operasi : Kontinyu

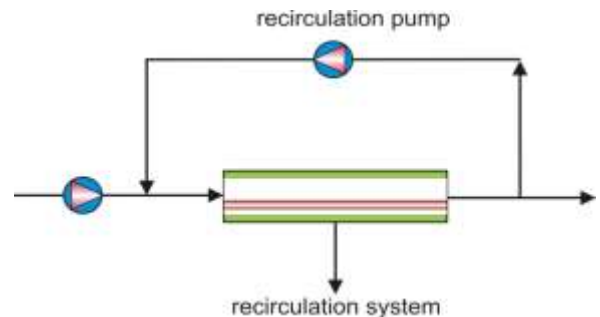
## Single Stage



Pada tahap single dengan daur ulang, sejumlah porsi retentat disirkulasi ke aliran umpan untuk meningkatkan derajat pemisahan

Pada sistem single pass larutan umpan melewati modul atau serangkaian modul hanya sekali (tanpa sirkulasi).

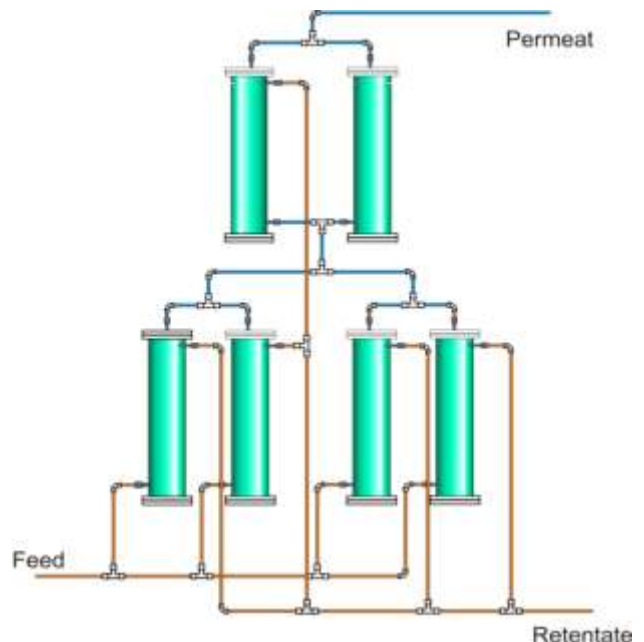
Volume umpan berkurang sepanjang panjang modul membran



## Multistage

## Mode Meruncing (Tapered)

- ✓ Laju cross flow melalui sistem dijaga konstan
- ✓ Panjang jalan total dan turun tekan tinggi
- ✓ Rasio volume antara umpan awal dan retentat utamanya ditentukan oleh konfigurasi sistem bukan oleh tekanan yang diberikan



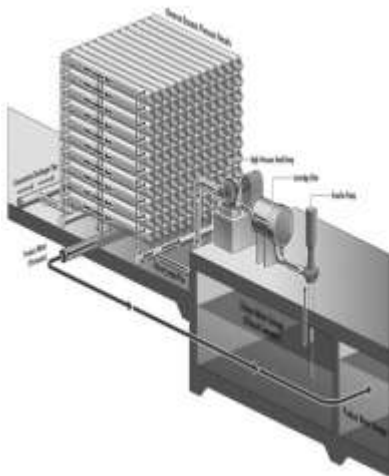
[Mulder, 1996]



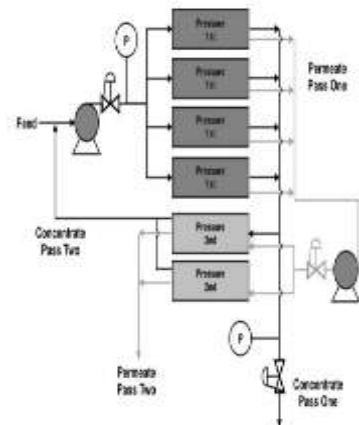
## Konfigurasi Proses Reverse Osmosis

Single-Stage SWRO System

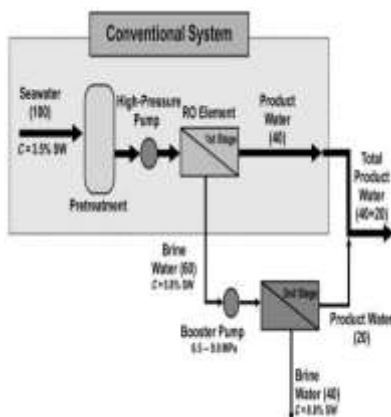
Digunakan untuk air minum. Terbatas pada penggunaan permeat

Two-Pass SWRO Systems

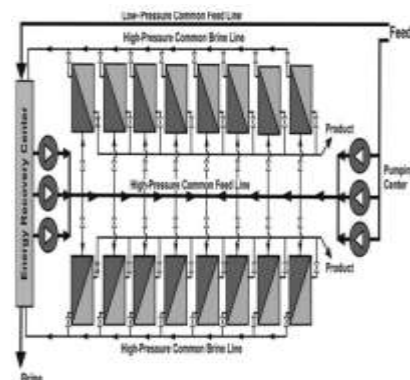
Digunakan ketika salinitas air laut tinggi (>35,000 mg/L) atau kebutuhan kualitas produk air sangat ketat

Two-Stage SWRO Systems

Digunakan untuk memaksimalkan recovery pabrik desalinasi keseluruhan dan mengurangnya volume konsentrat yang dibuang

Three-Center RO System Configuration

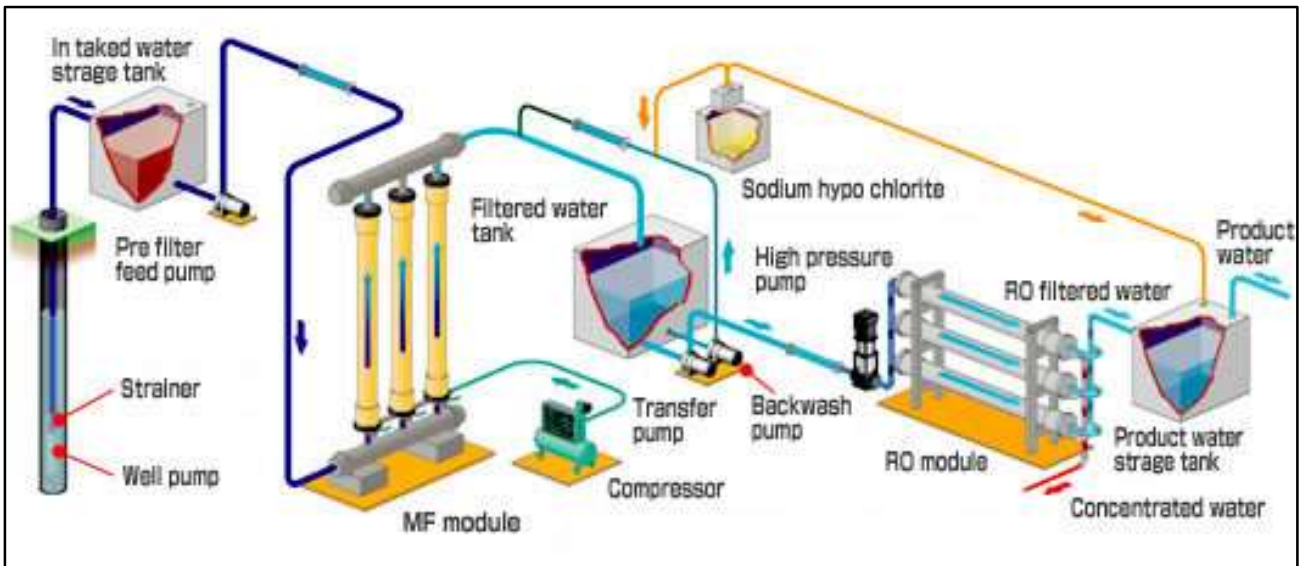
- Pusat pemompaan
- Pusat membran
- Pusat pengambilan kembali energi



Voutchkov & Semiat, 2008

## Sistem RO

Contoh desain sistem RO dapat dilihat pada gambar berikut. Sistem RO terdiri dari pre-treatment, pompa bertekanan tinggi (high pressure pump), unit RO, dan post treatment. Pada sistem desalinasi air laut, biasanya juga dilengkapi dengan water intake system dan energy recovery device.



[http://global.kawasaki.com/english/kplant/business/environment/water/images/clean\\_il001.jpg](http://global.kawasaki.com/english/kplant/business/environment/water/images/clean_il001.jpg)

*Pretreatment* dilakukan untuk mengeliminasi senyawa-senyawa yang tidak diinginkan dalam air laut dan dapat menyebabkan *fouling* pada membran dan memperpanjang umur membran

Beberapa contoh pre-treatment RO (Kucera, 2010)

## Mekanis

- Clarifier, multimedia pressure filter, carbon filter, iron filter, sodium softener, UV, Membran

## Kimiawi

- Chlorine, ozone, hydrogen peroksida, anti scalant, sodium metabisulfit, sodium bisulfit

## Kombinasi

- Cold lime softening, warm lime softening, hot process softening

## Energy recovery devices

**Pelton wheels**

- Biaya investasi murah
- Terhubung langsung dengan pompa/motor SWRO
- Mensyaratkan full sized pompa/motor SWRO
- Efisiensi hingga 88%
- Beroperasi pada mode sentrifugal

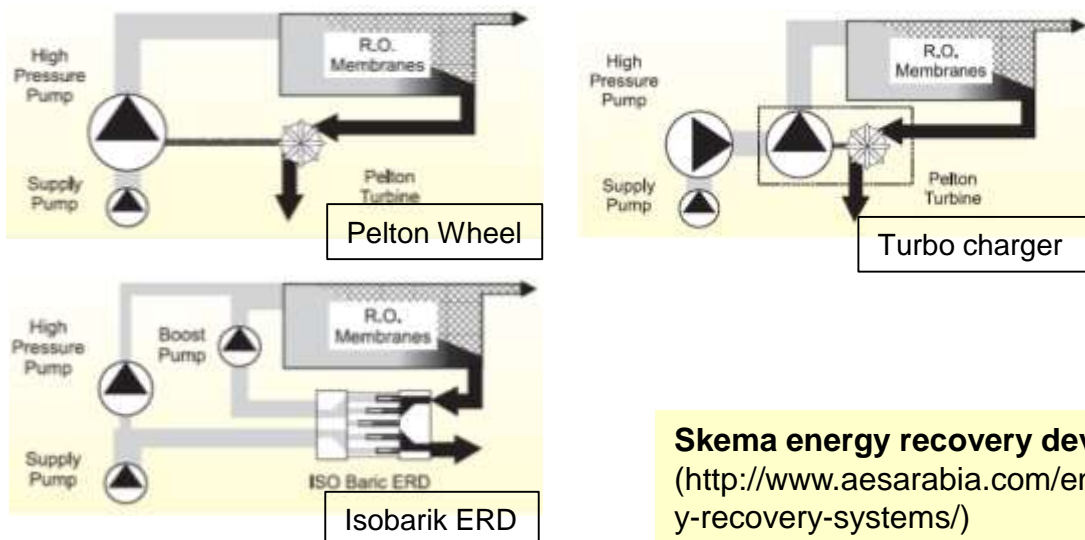
**Turbochargers**

- Biaya investasi sedang
- Tidak terkoneksi dengan pompa/motor SWRO
- Dapat mencapai efisiensi 83%
- Beroperasi pada mode sentrifugal

**Isobaric atau Direct Energy Recovery Devices**

- Biaya investasi lebih tinggi (bias mencapai 250% dari Pelton wheels)
- Tidak terkoneksi dengan pompa/motor SWRO
- Beroperasi pada mode positive displacement
- Kurva efisiensi datar dan dapat mencapai 95% operasi
- Meningkatkan TDS air hingga sekitar 1%

[Truby, 2008]



**Skema energy recovery device**  
[\(http://www.aesarabia.com/energy-recovery-systems/\)](http://www.aesarabia.com/energy-recovery-systems/)

## Troubleshooting

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengoperasian sistem RO. Hal-hal yang harus dilakukan dan yang tidak boleh dilakukan dapat dilihat pada skema berikut yang meliputi prosedur operasi, *data logging*, dan monitoring kondisi umpan. Sedangkan permasalahan sistem RO dapat dilihat dari gejala-gejala yang muncul dan dapat diamati dari parameter tekanan, aliran permeat, dan rejeksi garam sebagaimana ditunjukkan pada tabel di bawah (Kucera, 2010).



Pre-treatment



RO

### DO

1. Ganti cartridge filters secara reguler
2. Monitor sistem dan buat data log harian
3. Jalankan sistem sebanyak mungkin, kontinyu.
4. Atur recovery sistem sesuai rekomendasi

### DON'T

1. Klorin di air umpan
2. Shut down sistem pada waktu yang lama.
3. Tutup throtle valve secara penuh.
4. Mengoperasikan sistem dengan flow kurang

## Gejala fouling Membran RO, Penyebab, dan Penanggulangan

| Aliran permeat | Salt Passage | Beda tekanan | Penyebab langsung | Penyebab tak langsung  | Penanggulangan   |
|----------------|--------------|--------------|-------------------|--|--|
| Meningkat      | Meningkat    | Tetap        | Oksidasi          | Klorin, Ozone, $\text{KMnO}_4$   | Ganti elemen. Periksa Carbon pretreatment atau injeksi Sodium Bisulfite  |
| Meningkat      | Meningkat    | Tetap        | Bocor (membran)   | <sup>1</sup> Permeate backpressure atau<br><sup>2</sup> Abrasi                               | <sup>1</sup> ganti elemen dan periksa desain sistem<br><sup>2</sup> ganti elemen & periksa pretreatment sedimentasi                |
| Meningkat      | Meningkat    | Tetap        | O-Ring bocor      | Instalasi tidak tepat  | Periksa dan/atau ganti O-Rings   |
| Meningkat      | Meningkat    | Tetap        | Pipa Produk bocor | Kerusakan saat loading elemen  | Ganti elemen   |
| Berkurang      | Meningkat    | Meningkat    | Scaling           | <sup>1</sup> penyisihan kesadahan tidak cukup<br><sup>2</sup> Recovery sistem terlalu tinggi | Cuci atau ganti elemen<br><sup>1</sup> Periksa Water Softener atau Antiscalant injection.<br><sup>2</sup> Turunkan recovery sistem |
| Berkurang      | Meningkat    | Meningkat    | Fouling kolod     | Pretreatment tidak cukup   | Cuci atau ganti elemen, Tingkatkan Pretreatment  |
| Berkurang      | Tetap        | Meningkat    | Biofouling        | Ari baku terkontaminasi, Pretreatment tidak cukup  | Cuci atau ganti elemen, Disinfeksi, Tingkatkan pretreatment  |
| Berkurang      | Tetap        | Tetap        | Fouling organik   | Minyak; Cationic Polyelectrolytes  | Cuci atau ganti elemen, tingkatkan pretreatment  |
| Berkurang      | Berkurang    | Tetap        | Kompaksi          | Water Hammer   | Ganti atau tambah element  |

= main symptom



## Troubleshooting

## Foulant umum dan gejalanya

| Foulant                | Gejala   | Larutan pencuci per tipe membran           |
|------------------------|--|--|
| Pertumbuhan biologis   | Elemen berbau menyengat, pertumbuhan jamur pada ujung gulungan. Elemen kemungkinan akan menunjukkan aliran permeat rendah, tapi rejeksi garam biasanya akan baik jika tidak lebih baik dari tes aslinya.                                 | Alkaline Cleaner<br>TF: AM-22<br>CA: AM-33 |
| Scaling karbonat       | Biasanya pada tap water atau brackish water element saja. Elemen mungkin terasa lebih berat dari biasanya. Elemen akan menunjukkan aliran permeat dan rejeksi garam yang buruk   | Acid Cleaner<br>TF: AM-11<br>CA: AM-44     |
| Fouling besi           | Karat mewarnai terlihat pada ujung gulungan. Mungkin beberapa serpihan karat besar dari pipa besi. Elemen akan menunjukkan aliran permeat dan rejeksi garam yang rendah. Aliran rejeksi berwarna merah dapat dilihat pada awal tes awal. | Acid Cleaner<br>TF: AM-11<br>CA: AM-44     |
| Silt atau Carbon Fines | Material berwarna coklat atau hitam pada ujung gulungan. Aliran rendah, rejeksi yang baik dalam tahap awal. Aliran tinggi dan rejeksi yang buruk di tahap-tahap selanjutnya karena efek abrasif dari bahan terhadap membran.             | AM-55                                      |

| Seberapa cepat fouling yang terjadi? | Penyebab  | Solusi   |
|--------------------------------------|---|--|
| Overnight fouling                    | Clay, Silt, minyak, dkk.                                      | Cuci dengan Alkaline Cleaner (TF: AM-22, CA: AM-33)  |
| Fouling menengah (5 hingga 10 hari)  | Mikrobiologis. Prefilters akan menunjukkan deposit berlendir. | Gunakan pencucian biosida diikuti alkaline cleaning (TF: AM-22, CA: AM-33). Sanitasi rutin mungkin diperlukan.                                 |
| Fouling lambat                       | Yang paling umum dan paling sulit untuk diidentifikasi        | Ikuti urutan pembersihan membran reguler: Flush ; Acid Cleaning (TF: AM-11, CA: AM-44); Flush; Alkaline Cleaning (TF: AM-22, CA: AM-33); Flush |

## Troubleshooting umum untuk sistem RO

| Permasalahan                                  | Kemungkinan penyebab         | Solusi                             |
|---|------------------------------|------------------------------------|
| Tekanan inlet rendah                          | Suplai tekanan rendah        | Perbaiki suplai tekanan            |
|   | Penyumbatan cartridge filter | Ganti filter                       |
|   | Malfungsi solenoid valve     | Ganti solenoid valve dan/atau coil |
| Aliran permeat rendah                         | Temperatur air rendah        | Atur temperature air               |
|   | Tekanan sistem rendah        | Atur control valve                 |
|   | Fouling                      | Cuci atau ganti Membrane           |
| Pompa berisik                                 | Aliran inlet rendah          | Lihat "Inlet pressure low" above   |
| Kualitas permeat rendah                       | Aliran inlet rendah          | Atur control valve                 |
|   | Tekanan sistem rendah        | Lihat diatas                       |
|   | Recovery terlalu tinggi      | Kurangi recovery                   |
|   | Fouling pada membran         | Cuci atau ganti Membrane           |
|   | Membran rusak                | Ganti Membrane                     |
| Masih ada tekanan meskipun tangki sudah penuh | Malfungsi solenoid           | Ganti solenoid                     |
|   | Malfungsi Coil               | Ganti coil                         |
|   | Malfungsi Controller         | Inspeksi atau ganti                |

## Desalinasi air laut dan air payau

Perbandingan parameter SWRO dan BWRO (Greenlee dkk, 2009)

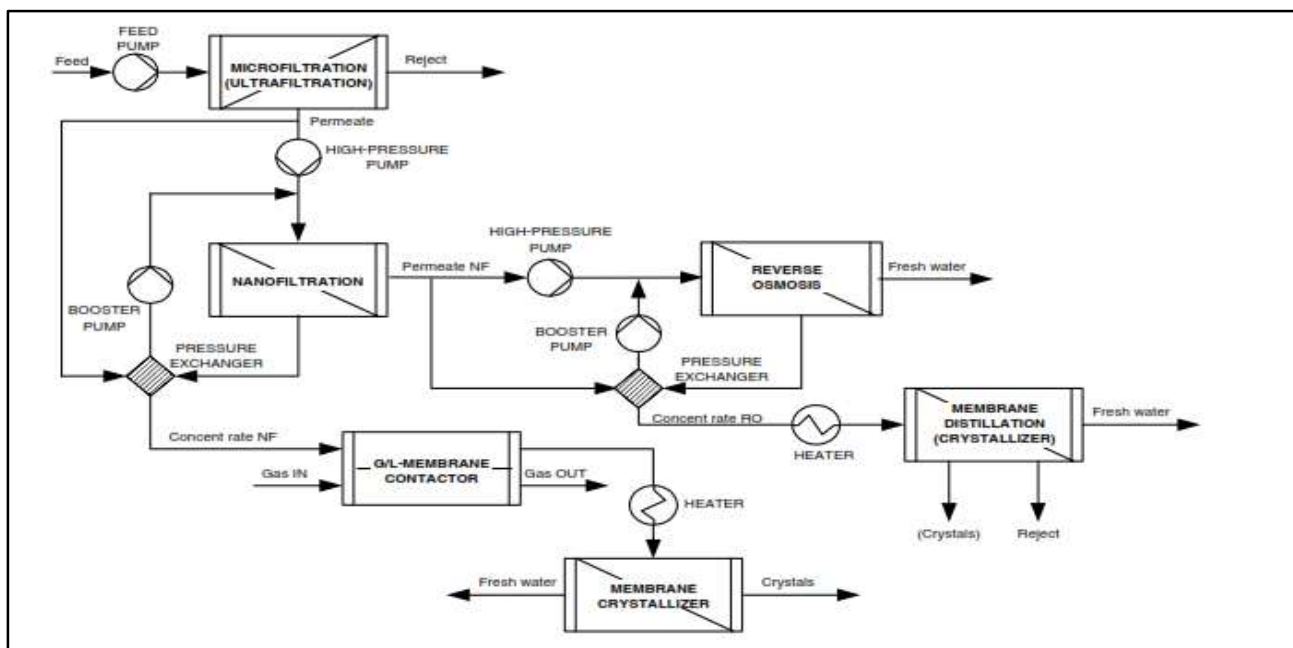
| Parameter           | SWRO         | BWRO        |
|---------------------|--------------|-------------|
| Fluks (lmh)         | 12-17        | 12-45       |
| Tekanan (MPa)       | 5,5-8        | 0,6-3       |
| Penggantian membran | 20% pertahun | 5% pertahun |
| Recovery (%)        | 35-45        | 75-90       |
| pH                  | 5,5-7        | 5,5-7       |
| Rejeksi garam (%)   | 99,4-99,7    | 95-99       |

Perbandingan biaya SWRO dan BWRO (Greenlee dkk, 2009)

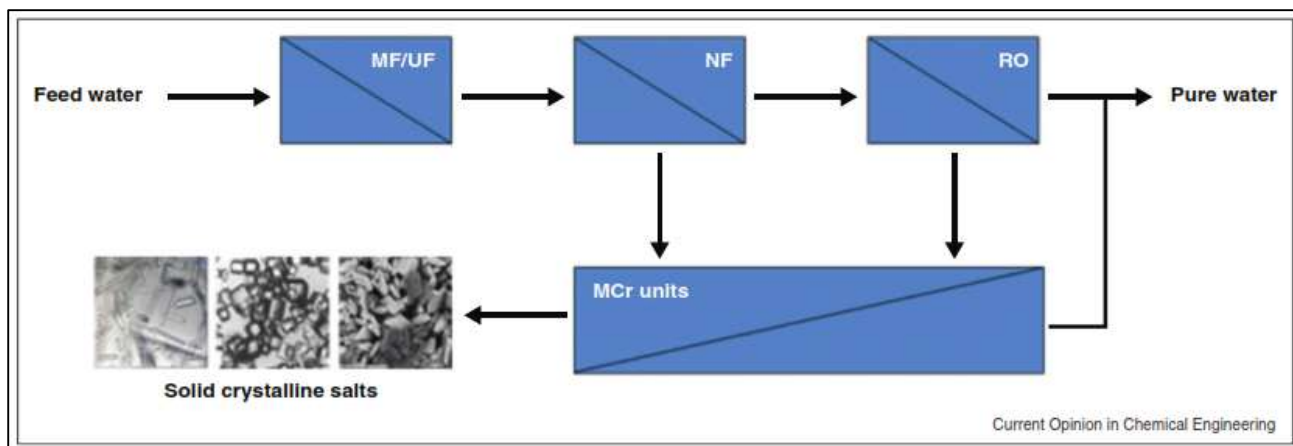
| Biaya                                    | Metropolitan plant (BWRO) | Ashkelon plant (SWRO)    |
|--|---------------------------|--------------------------|
| Biaya capital (\$/m <sup>3</sup> )       | 0,057                     | 0,311                    |
| Energy (\$/m <sup>3</sup> )              | 0,029                     | 0,134                    |
| Labor (\$/m <sup>3</sup> )               | 0,007                     | Termasuk dalam lain-lain |
| Bahan kimia (\$/m <sup>3</sup> )         | 0,016                     | 0,021                    |
| Penggantian membran (\$/m <sup>3</sup> ) | 0,010                     | 0,028                    |
| Lain-lain (\$/m <sup>3</sup> )           | 0,077                     | 0,031                    |
| Total                                    | 0,134                     | 0,525                    |

## Desalinasi air laut terintegrasi

Saat ini, teknologi membran telah mendominasi proses-proses desalinasi karena keunggulan-keunggulan yang ditawarkannya. Meskipun begitu, desalinasi berbasis membran juga menghadapi berbagai tantangan seperti peningkatan perolehan air secara keseluruhan, *fouling*, penyisihan boron, dan pengelolaan limbah garam (*brine*) yang dihasilkan. Saat ini telah banyak dilakukan studi mengenai penanganan limbah garam karena dampak lingkungan yang ditimbulkannya. Salah satu alternatif yang menjanjikan dalam pengelolaan limbah *brine* adalah sistem desalinasi terintegrasi.



Desalinasi membran terintegrasi (Drioli dan Curcio 2007)



Current Opinion in Chemical Engineering

Drioli dkk., 2012

## Produksi air ultra murni untuk umpan boiler tekanan tinggi



Plant EDI terbesar saat ini berada di Con Edison's East River Repowering Project, New York. Dengan kapasitas produksi air ultra murni sebesar 1.530 m<sup>3</sup>/jam.

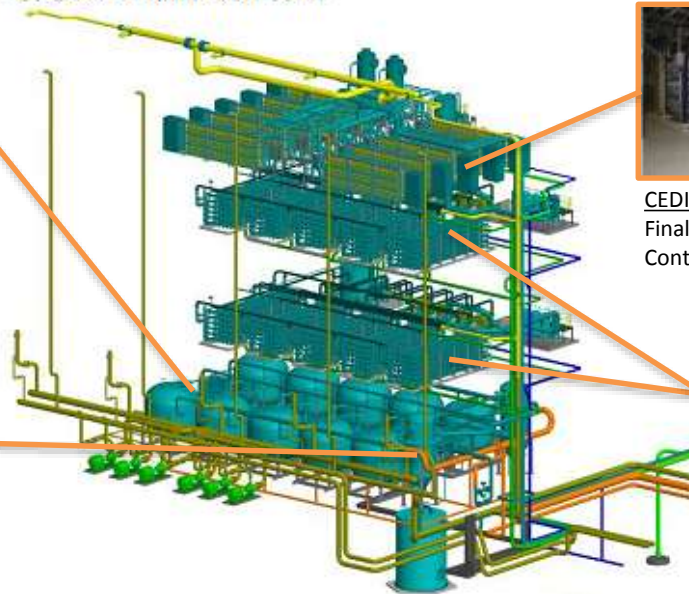
RO/CEDI Plant Isometric



Filter Units



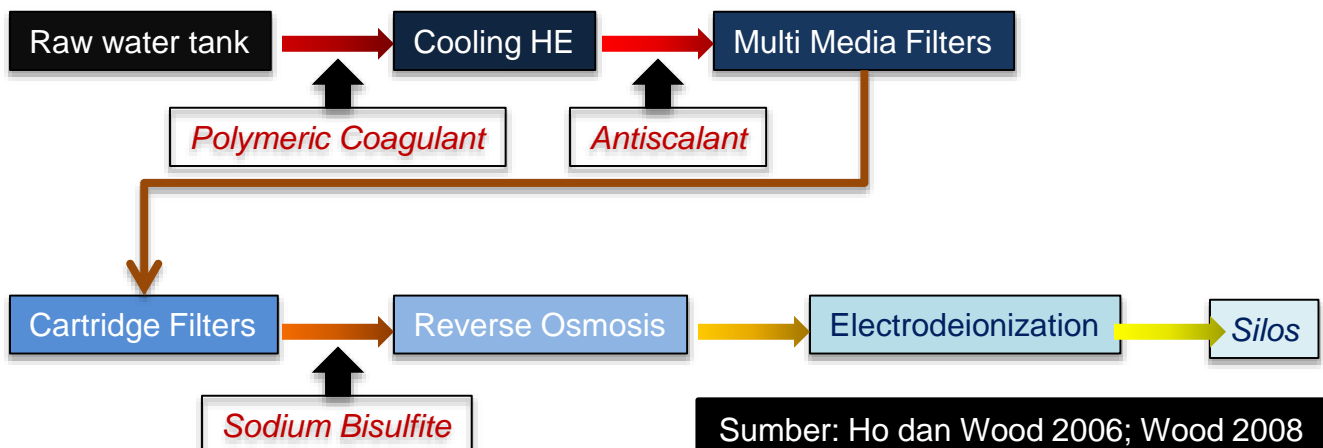
Anti Scalant injection



CEDI Units  
Final treatment using  
Continuous electrodeionization



RO Units  
Contain 2 pass reverse  
osmosis unit



Sumber: Ho dan Wood 2006; Wood 2008



## UNIT MOBILE KOMBINASI UF-RO untuk penyediaan air minum



**Tantangan Teknis untuk Desalinasi menggunakan RO****Pengolahan Air Limbah**

- Scaling
- Fouling senyawa organik

**Biaya Operasional**

- Pengembangan energy recovery device atau pabrik desalinasi/pembangkit hibrid
- Perancangan sistem: membran dengan modul yang lebih besar, fluks yang lebih tinggi

**Material membran**

- Pengembangan membran tahan klorin

**Aliran Konsentrat**

- RO air payau Inland : Pengelolaan konsentrat
- Desalinasi pesisir: meminimalisir dampak pembuangan brine terhadap lingkungan

**Standar kualitas air**

- Penghilangan Boron

**Pretreatment**

- Mengurangi biaya pretreatment membran
- Mengganti pretreatment konvensional

**Fouling**

- Pengembangan metode prediksi potensi fouling

[Greenlee dkk, 2009]

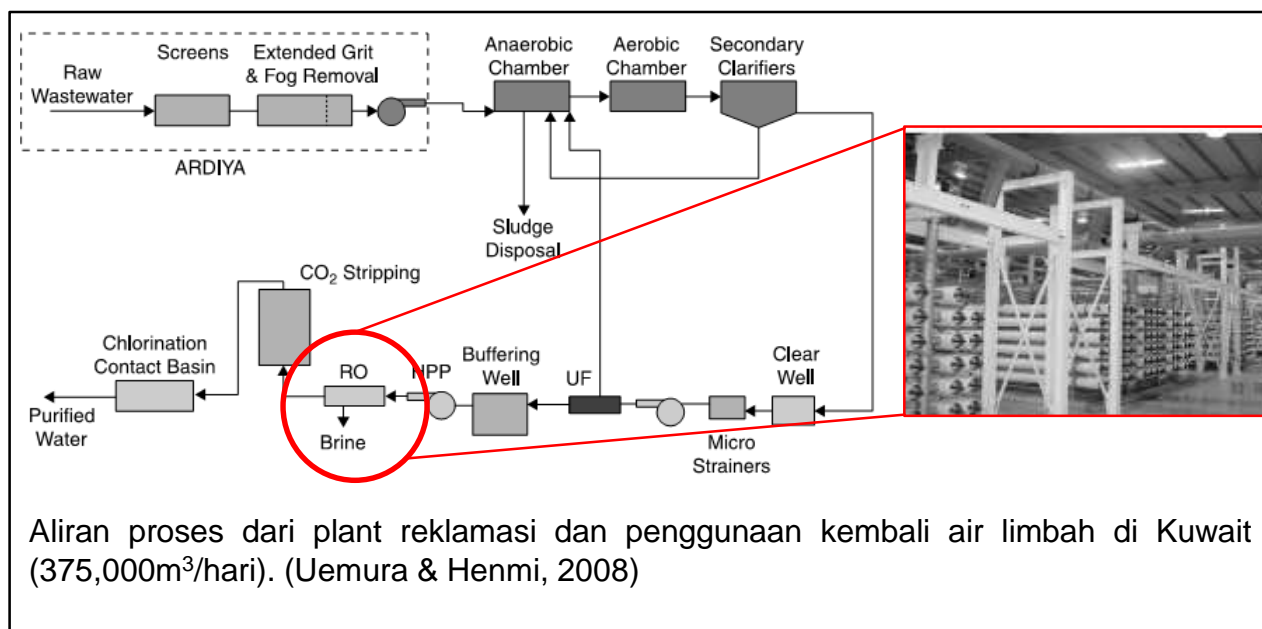
## Pengolahan Air Limbah

## Reklamasi Air

Plant reklamasi air limbah dan penggunaan kembali telah dibangun dan dioperasikan di seluruh dunia. Membran RO diperlukan untuk reklamasi air limbah untuk membuat kualitas air dapat digunakan kembali.

Pabrik Reuse Air Limbah Besar (pada of Juli,2005) (Uemura & Henmi, 2008)

| No. | Lokasi                   | Kapasitas (m <sup>3</sup> /hari) |
|-----|--------------------------|----------------------------------|
| 1.  | Sulaibiya, Kuwait        | 310,000                          |
| 2.  | Fountain Valley, CA, USA | 220,000                          |
| 3.  | Ulu Pandan, Singapore    | 140,000                          |
| 4.  | West Basin, CA, USA      | 75,000                           |
| 5.  | Kranji, Singapore        | 40,000                           |
| 6.  | Bedok, Singapore         | 32,000                           |
| 7.  | Seletar, Singapore       | 24,000                           |
| 8.  | Scottsdale, AZ, USA      | 22,710                           |

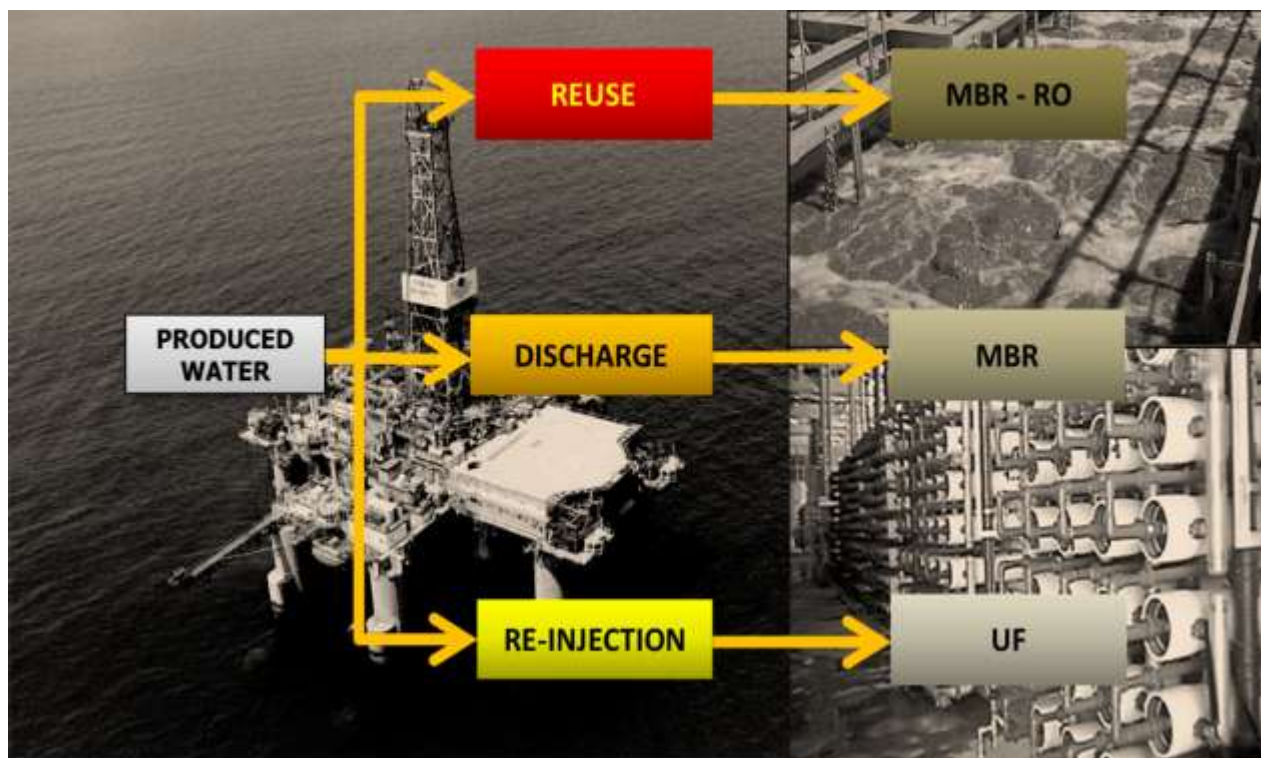




## Pengolahan Air Limbah

Recovery Metal dan Guna Ulang Air Limbah  
Industri Electroplating

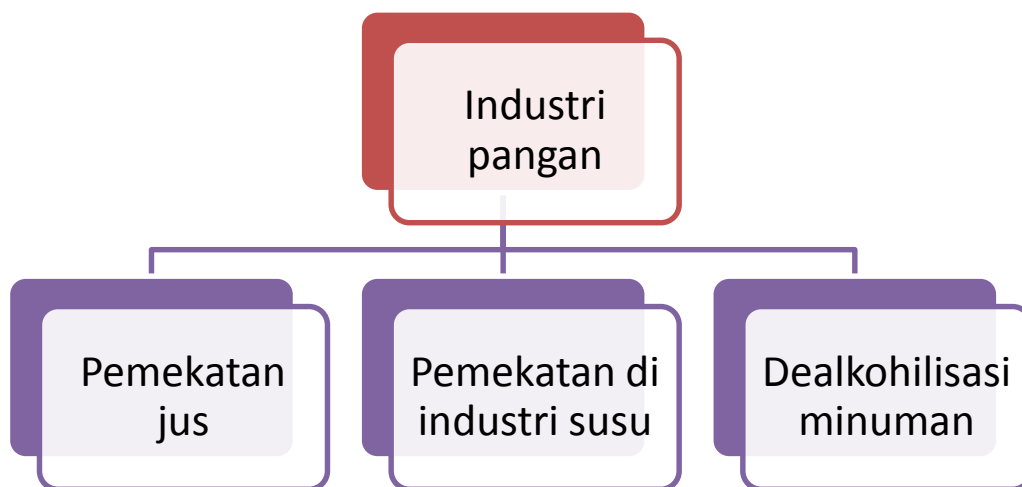


Pengolahan air terproduksi (*produced water*)

Dalam proses produksi minyak bumi akan dihasilkan produk samping berupa air terproduksi (*produced water*) dalam volume yang sangat besar. Produced water merupakan limbah pada proses produksi minyak dengan kandungan komponen-komponen yang bersifat toksik bagi lingkungan. Oleh karena itu perlu dilakukan usaha untuk menangani produced water menggunakan teknologi yang efektif dan efisien. Teknologi membran juga berpotensi untuk diaplikasikan pada pengolahan produced water. Pengelolaan produced water ditujukan untuk tiga tujuan, yaitu reinjeksi, guna ulang, dan dibuang (*discharge* setelah diolah dan memenuhi kriteria). Ketiga penanganan tersebut membutuhkan teknologi yang berbeda pula. Penggunaan kembali air terproduksi umumnya memiliki spesifikasi yang lebih tinggi sehingga membutuhkan gabungan proses MBR dan RO untuk menghilangkan zat organik di dalamnya juga ion-ion terutama jika digunakan sebagai air umpan boiler. Pembuangan air terproduksi sendiri memiliki spesifikasi yang lebih rendah sehingga MBR saja dapat mengurangi tingkat kebutuhan oksigen di dalam air. Untuk reinjeksi, spesifikasi yang dibutuhkan lebih rendah lagi karena hanya perlu memenuhi kriteria perpipaian sehingga penghilangan padatan dengan UF dirasa sudah cukup.

## Pengolahan Pangan

Di industri pangan, RO telah diaplikasikan terutama pada proses pemekatan, seperti pemekatan jus buah, jus sayuran, jus gula, juga untuk pemekatan pada industri susu. Membran RO juga telah digunakan untuk proses dealkoholisasi minuman beralkohol.



Aplikasi RO untuk pengolahan pangan

Keunggulan dan kelemahan RO dalam proses pemekatan jus (Jiao dkk, 2004)

| Keunggulan  | Kelemahan  |
|---|--|
| Apek teknis   |  |
| Aplikasi skala industri yang luas   | Fenomena fouling   |
| Temperatur rendah   | Beroperasi pada tekanan tinggi   |
| Kombinasi dengan evaporasi vacuum dan dengan sistem rekompresi uap, telah ada skala komersial | Memerlukan pre-treatment deaktivasi enzim                                  |
|   | Konsentrasi jus terbatas pada 22-23°Brix                                   |
|   | Kehilangan senyawa aroma selama proses                                     |
|   | Susah untuk memekatkan larutan dengan kandungan padatan tersuspensi tinggi |
| Aspek ekonomis  |  |
| Lebih ekonomis dan hemat energi dibanding evaporasi termal                                    | Penggantian membran memerlukan biaya tinggi                                |
|   | Biaya kerja proses tinggi  |

- Aaberg, R. J. (2003). Osmotic power: A new and powerful renewable energy source?. *Refocus*, 4(6), 48-50.
- Baker, R.W. (2004) *Membrane Technology and Applications*. 2nd Edition edn. John Wiley & Sons, Ltd. ,
- Cath, T. Y., Childress, A. E., & Elimelech, M. (2006). Forward osmosis: principles, applications, and recent developments. *Journal of membrane science*, 281(1), 70-87.
- Drioli, E. & Curcio, E. (2007) Membrane engineering for process intensification: a perspective. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 82, 223-227.
- Drioli, E., Di Profio, G., & Curcio, E. (2012). Progress in membrane crystallization. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 1(2), 178-182.
- Greenlee, L. F., Lawler, D. F., Freeman, B. D., Marrot, B., & Moulin, P. (2009). Reverse osmosis desalination: water sources, technology, and today's challenges. *Water research*, 43(9), 2317-2348.
- Ho, C, Wood, J. Design, construction and operation of a 6,730 gpm RO/CEDI system for Con Edison's East River Repowering Project, The International Water Conference, Pittsburgh, PA, USA. October. 2006.
- Ho, C, Wood, J. Design, construction and operation of a 6,730 gpm RO/CEDI system for Con Edison's East River Repowering Project, The International Water Conference, Pittsburgh, PA, USA. October. 2006.
- <http://codeline.pentair.com/~media/websites/codeline/homepage/header%20codeline%20product%20finder.jpg>
- [http://csmres.co.uk/cs.public.upd/article-images/KMS\\_Image1.jpg](http://csmres.co.uk/cs.public.upd/article-images/KMS_Image1.jpg)
- [http://global.kawasaki.com/english/kplant/business/environment/water/images/clean\\_il001.jpg](http://global.kawasaki.com/english/kplant/business/environment/water/images/clean_il001.jpg)
- <http://www.aesarabia.com/energy-recovery-systems/>
- <http://www.climatetechwiki.org/content/desalination>
- <http://www.ide-tech.com/blog/case-study/sorek-israel-project/>
- <http://www.kochind.com/files/KochMembraneHomePage.jpg>
- [http://www.nanalyze.com/wp-content/uploads/2014/11/Oasis\\_Technology\\_Diagram.jpg](http://www.nanalyze.com/wp-content/uploads/2014/11/Oasis_Technology_Diagram.jpg)
- <http://www.water-technology.net/projects/6915/images/139380/large/3-sorek-simulation.jpg>
- Jiao, B., Cassano, A., & Drioli, E. (2004). Recent advances on membrane processes for the concentration of fruit juices: a review. *Journal of Food Engineering*, 63(3), 303-324.
- Kang, G. D., & Cao, Y. M. (2012). Development of antifouling reverse osmosis membranes for water treatment: a review. *Water research*, 46(3), 584-600.
- Kucera, J. (2010). *Reverse Osmosis: Industrial applications and Processes*. Canada: Scrivener Publishing LLC.
- Lee, K. P., Arnot, T. C., & Mattia, D. (2011). A review of reverse osmosis membrane materials for desalination—Development to date and future potential. *Journal of Membrane Science*, 370(1), 1-22.
- Lu, Y., Suzuki, T., Zhang, W., Moore, J. S., & Mariñas, B. J. (2007). Nanofiltration membranes based on rigid star amphiphiles. *Chemistry of materials*, 19(13), 3194-3204.
- Moss, P., & Skelton, R. (2009). Large diameter RO elements: A summary of recent operating experiences. *Desalination and Water Treatment*, 6(1-3), 80-85.
- Mulder, M (1996). *Basic Principle of Membrane Technology*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Sauvet-Goichon, B., (2007), Ashkelon desalination plant – A successful challenge, *Desalination* 203, 75–81.

# DAFTAR PUSTAKA

- Truby, R.L. (2008). Seawater Desalination by Ultralow-Energy Reverse Osmosis. In Li, N.N., Fane, A.G., Ho, W.S.W, Matsuura, T., Eds. Advanced Membrane Technology and Applications, Canada: John Wiley & Sons, Inc., 87-100.
- Uemura, T., & Henmi, M. (2008). Thin-Film Composite Membranes for Reverse Osmosis. In Li, N.N., Fane, A.G., Ho, W.S.W, Matsuura, T., Eds. Advanced Membrane Technology and Applications, Canada: John Wiley & Sons, Inc., 1-19.
- Voutchkov, N., & Semiat, R. (2008). Seawater desalination. In Li, N.N., Fane, A.G., Ho, W.S.W, Matsuura, T., Eds. Advanced Membrane Technology and Applications, Canada: John Wiley & Sons, Inc., 47-86.
- Wood, J. (2008), Power generation: Continuous electrodeionisation for power plants. Filtration & Separation 45(5), 17-19.